Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 3, 2024, p. 569-585

The Effect of Wheat Residues and Vermicompost on the Quality Characteristics of Corn (*Zea mays* L.) Forage and Soil Fertility

Hasanali Pooresmael[1], Mehdi Dahmardeh[2*] and Ahmad Ghanbari[3]

1, 2 and 3- PhD Graduated, Associated Professor and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 26-01-2024 Revised: 13-04-2024 Accepted: 17-04-202٤ Available Online: 09-11-2024	**How to cite this article:** Pooresmael, H., Dahmardeh, M., & Ghanbari, A. (2024). The effect of wheat residues and vermicompost on the quality characteristics of corn (*Zea mays* L.) forage and soil fertility. *Journal of Agroecology, 16*(3), 569-585. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/agry.2024.86558.1189

Introduction

One of the most significant agricultural challenges in arid and semi-arid regions is the decline in organic matter in agricultural soils, which leads to reduced crop yields and increased production costs. This depletion is primarily due to the annual removal of soil nutrients through crop harvesting and the extraction of organic matter. Farmers often remove straw and stubble from the field along with the grain harvest, and to prepare the field for the next planting or to control pests and diseases, they frequently burn the remaining straw. These practices contribute to a reduction in soil fertility over time. One of the most important effective factors in sustainable agriculture is plant nutrition using nutrients in the soil. Sustainable production requires efficient and effective use of on-farm resources such as plant residues after harvest. The need to reduce the costs of fertilizing agricultural products by using renewable resources has revived the use of organic fertilizers worldwide. Vermicomposting is one of the promising processes for producing organic fertilizer with high nutritional value, which not only increases agricultural productivity, but is also a cost-effective strategy for waste management without pollution.

Materials and Methods

In this study, the corn (*Zea mays* L.) variety Fajr or K.S.C 260 was used. This experiment was conducted in 2016-2017 growing season based on randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Institute of Zabol University. The experimental treatments include different levels of integrated organic fertilizer management system in ten levels: no fertilization, 30% wheat residues, 60% wheat residues, 90% wheat residues, 30% vermicompost, 60% vermicompost, 100% vermicompost, 10% vermicompost+ 90% wheat residues, 40% vermicompost+ 60% wheat residues and 70% vermicompost+ 30% wheat residues. Acid detergent fiber (ADF) cell wall contribution includes cellulose and lignin, and dry matter digestibility (DMD) were measured in corn plants. Meanwhile, the amount of organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, sodium, magnesium and sulfur in the soil were measured, too.

https://doi.org/10.22067/agry.2024.86558.1189

Results and Discussion

According to the obtained results, the integrated organic fertilizer management system showed significant effect on the organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, sodium, magnesium and Sulphate. Additionally, the integrated organic fertilizer management system showed no significant effect on ADF and DMD of corn. The highest and lowest amount of DMD (56.35%) and ADF (16.40 $g.kg^{-1}$ DM) in corn, were observed due to the treatment of 60% of wheat residues and treatment of 70% vermicompost + 30% wheat residues, respectively. The highest amount of organic carbon (0.212 %) and phosphorus (5.07 $mg.lit^{-1}$) were achieved in the integrated system of 10% vermicompost + 90% wheat. Although, there were no significant difference statistically compared to the treatment of 70% vermicompost + 30% wheat residue. The highest and lowest percentage of soil nitrogen was observed in the integrated system of 70% vermicompost+ 30% of wheat residues (0.063%) and no fertilization (0.020%) respectively. In the present study, adding organic matter to the soil increased soil phosphorus. The mineralization and mobilization of phosphorus is due to the presence of microorganisms and enzymes that dissolve phosphorus in the intestines of earthworms.

The highest amount of potassium (0.37 $meq.lit^{-1}$), sulphate (11.29 $meq.lit^{-1}$) and calcium (6.33 $meq.lit^{-1}$) in corn, were observed in the treatment of 10% vermicompost+ 90% wheat residues, 70% vermicompost + 30% wheat residues and the treatment of 30% wheat residues, respectively.

Conclusions

In general, the integrated system caused a significant increase in the amount of organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, available potassium, calcium and magnesium in the soil. Organic materials increased the ability of absorbing nutrients and increased the quality of corn forage by increasing DMD and reducing ADF. The results of this research demonstrated that the integrated system of 70% vermicompost and 30% wheat residue exhibited significant advantages in the characteristics under investigation, outperforming other treatments in the test area.

Keywords: Absorbable phosphorus, Acid detergent fiber, Dry matter digestibility, Organic carbon

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۸۵-۵۶۹

تأثیر بقایای گیاهی گندم و ورمی‌کمپوست بر ویژگی‌های کیفی علوفه ذرت (*Zea mays* L.) و حاصلخیزی خاک

حسنعلی پوراسماعیل[1]، مهدی دهمرده[2]* و احمد قنبری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹

چکیده

روش‌های کشاورزی رایج، موفقیتی در استفاده مطلوب از منابع نداشته و با اتکای بیش از حد به نهاده‌های مصنوعی مانند کودهای شیمیایی باعث ایجاد اکوسیستم‌های زراعی ناپایدار می‌گردد. بر این اساس، به‌منظور بررسی اثر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر خصوصیات کیفی علوفه ذرت (*Zea mays* L.) و حاصلخیزی خاک، آزمایشی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل اجرا شد. تیمارها شامل سطوح مختلف سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی در ۱۰ سطح (عدم کوددهی)، ۳۰ درصد بقایای گندم، ۶۰ درصد بقایای گندم، ۹۰ درصد بقایای گندم، ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۶۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۹۰ درصد بقایای گندم، ۴۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۶۰ درصد بقایای گندم و ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین قابلیت هضم ماده خشک (۵۶/۳۵ درصد) در تیمار ۶۰ درصد بقایای گیاهی و کمترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۱۶/۴۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقدار نیتروژن کل (۰/۰۶۳ درصد) در تیمار۷۰ درصد ورمی کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم حاصل گردید. بیشترین میزان فسفر قابل دسترس (۵/۰۷ میلی‌گرم در لیتر) و نیز بیشترین میزان کربن آلی خاک (۰/۲۱۲ درصد) در تیمار ۱۰ درصد ورمی کمپوست + ۹۰ درصد بقایای گندم به‌دست آمد که البته تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم نشان ندادند. به‌طور کلی، استفاده از سیستم تلفیقی ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم منجر به تولید علوفه با کیفیت بالاتر و بهبود حاصلخیزی خاک گردید.

واژه‌های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، فسفر قابل جذب، قابلیت هضم ماده خشک، کربن آلی

مقدمه

همگام با طرح ایده توسعه پایدار، مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه مورد توجه قرار گرفته است. بررسی چالش‌ها و مسائل حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران شامل کمبود ماده آلی و عناصر غذایی در خاک، عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه، کارایی کم استفاده از کودهای شیمیایی، وجود تنش‌های محیطی و انتقال ناقص دانش به بهره‌برداران، پیچیدگی و چند بعدی بودن توصیه کودی را در سطح مزارع مشخص می‌نماید (Moshiri et al., 2022). در همین راستا، یکی از مهم‌ترین معضلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه-خشک، کاهش میزان مواد آلی در زمین‌های زراعی است که موجب

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته دکتری، دانشیار و استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2024.86558.1189

کاهش عملکرد محصولات و افزایش هزینه‌های تولید شده است. از جمله دلایل این کمبود می‌توان به خروج سالیانه مواد غذایی خاک از طریق برداشت محصول اشاره کرد. کشاورزان همراه با برداشت دانه غلات، کاه‌وکلش را از زمین خارج می‌کنند و به‌منظور آماده‌سازی مزرعه برای کشت بعدی و یا مبارزه با آفات و امراض، معمولاً کلش باقی‌مانده را می‌سوزانند. مجموع عوامل ذکر شده منجر به کاهش حاصلخیزی خاک می‌شود (Chegeni et al., 2014). از سوی دیگر، به‌منظور تولید محصول با کمیت و کیفیت بیشتر، لازم است ترکیب مناسبی از مواد غذایی در اختیار گیاه قرار گیرد. در همین راستا، کشاورزان به‌منظور تأمین نیاز گیاهان از کودهای شیمیایی استفاده می‌کنند. در این میان، مصرف طولانی‌مدت و بی‌رویه کودهای شیمیایی رایج، علاوه‌بر افزایش آلودگی و صدمات زیست‌محیطی، معضلاتی همچون برهم‌خوردن تعادل pH، تجمع عناصر سنگین در خاک، کاهش حلالیت عناصر کم‌مصرف، تخریب ساختمان خاک، افزایش هزینه‌های تولید و اثرات مخرب بر چرخه‌های زیستی را به دنبال داشته است (Adekiya & Agbede, 2017; Khan et al., 2018; Shirkhani et al., 2019)

نگرانی روزافزون در مورد امنیت غذایی، حفظ کیفیت محیط زیست و تأکید بر ظرفیت تولید پایدار خاک‌ها، لزوم استفاده از روش-های مدیریتی مناسب به‌منظور حفظ و بهبود مواد آلی خاک را روشن می‌سازد. بیش از ۶۰ درصد زمین‌های کشاورزی ایران را خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهند که از نظر مواد آلی فقیر هستند (Omidi & Abdolmohammadi, 2020; Mu et al., 2016)، براین اساس لازم است که رویکردهای مدیریت حاصلخیزی خاک از جنبه صرفاً شیمیایی به تلفیقی و یا جایگزینی آن‌ها با انواع کودهای آلی و زیستی به‌منظور رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی تغییر یابد (Moshiri et al., 2022).

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کشاورزی پایدار، تغذیه گیاه با استفاده از عناصر غذایی موجود در خاک می‌باشد. تولید پایدار، مستلزم استفاده کارآمد و مؤثر از منابع درون مزرعه‌ای از قبیل بقایای گیاهی می‌باشد(Salami et al., 2017; Torma et al., 2018) . به عبارت دیگر، یکی از راهکارهای ممکن، ارزان و قابل اجرا برای افزایش مواد آلی در اراضی کشاورزی، برگرداندن بقایای محصولات زراعی به خاک است. حفظ بقایای گیاهی، اثرات مثبت بر سلامت و کیفیت خاک دارد. برگردانیدن بقایای گیاهی به خاک سبب افزایش خلل‌وفرج و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و در نتیجه، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی آب و تبادل هوا در خاک خواهد شد که به تبع آن، اثر مثبت بر کاهش فرسایش، انتقال آب و املاح، بازیافت عناصر غذایی و تأمین غذا و زیستگاه برای موجودات زنده خاک دارد. برگرداندن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش تنوع و زیست‌توده میکروبی می‌گردد. همچنین تجزیه تدریجی بقایای گیاهی باعث افزایش مواد آلی خاک می‌شود (Orr et al., 2015;Govaerts et al., 2007). اهمیت ریزجانداران در کارکرد یک اکوسیستم به‌دلیل نقش مهمی است که در فرآیندهای خاک ایفا می‌کنند. نخستین عامل محدودکننده زیستی در اکثر خاک‌ها، فعالیت ریزموجودات زنده برای تجزیه کربن آلی است. زمانی‌که مواد گیاهی حاوی کربن به خاک افزوده شود، ریزجانداران تجزیه‌کننده برای کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد و کلسیم مورد نیاز خود به دو منبع عناصر موجود در خاک و مواد آلی اضافه شده به خاک متکی هستند، بنابراین با اضافه شدن بقایای گیاهی، این ریزموجودات به تجزیه بقایای گیاهی اقدام می‌کنند (Juan et al., 2008).

ضرورت کاهش هزینه‌های کوددهی محصولات کشاورزی با استفاده از منابع تجدیدپذیر، استفاده از کودهای آلی در سطح جهان را احیا کرده است. دلیل اصلی ترویج استفاده بیشتر از مواد آلی، بهبود شرایط زیست‌محیطی و سلامت عمومی است(Ojeniyi, 2000). ورمی‌کمپوست یکی از فرآیندهای امیدبخش جهت تولید کود آلی با ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که نه تنها بهره‌وری کشاورزی را افزایش می‌دهد، بلکه یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه برای مدیریت پسماند و بدون آلودگی است (Karami et al., 2023). ورمی‌کمپوست در اثر مجموعه‌ای از فعالیت‌های زیستی نظیر تجمع باکتری‌ها، آنزیم‌ها، کود حیوانی، بقایای گیاهی و پسماندهای کرم خاکی طی یک فرآیند غیرحرارتی و هوازی تشکیل می‌شود. افزودن این ماده آلی به خاک موجب بهبود ساختمان خاک، افزایش جذب رطوبت و ظرفیت نگهداری آب، افزایش تهویه و قابلیت زهکشی می‌شود. همچنین فعالیت‌های میکروبی را در بستر کشت گیاهان افزایش می‌دهد. ورمی-کمپوست، عناصر غذایی را به‌آرامی و به‌صورت یکنواخت در سامانه رشد گیاهی آزاد کرده و در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم، آهن، منگنز، منیزیم و پتاسیم در فرم قابل جذب برای گیاه عمل کرده و سبب بهبود رشد و عملکرد کمّی و کیفی گیاه می‌شود. به عبارت دیگر، در این نوع کود، فراهمی

عناصر غذایی قابل دسترس برای گیاه بیشتر از سایر کودها است (Jabeen & Ahmad, 2017; Shakarami et al., 2019).

ذرت (*Zea mays* L.) گیاهی با سیستم فتوسنتزی C۴ است که با توجه به پتانسیل بالای تولید اقتصادی (دانه و علوفه)، یکی از محصولات اساسی جهت تأمین خوراک دام و طیور در ایران به است. این گیاه از لحاظ سطح زیر کشت در بین گیاهان زراعی پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)و برنج(*Oriza sativa* L.)، مقام سوم و از نظر تولید، مقام اول را دارد (Rafiee, 2014; Shirkhani et al., 2019). علوفه ذرت با محتوای انرژی نسبتاً بالا، برای استفاده در جیره‌های کم هزینه برای پرواربندی دام مناسب است. علاوه‌براین، علوفه ذرت می‌تواند به‌طور کارآمدی مواد غذایی گیاهی به‌ویژه مقادیر زیادی از نیتروژن، فسفر و پتاسیم را بازیافت کند (Roth & Heinrichs, 2001). کارآیی تولید ذرت در مناطق گرمسیری با کمترین نهاده خارجی معمولاً به‌دلیل حاصلخیزی پایین خاک، محدود می‌شود، زیرا کشت‌وکار مداوم ذرت منجر به کاهش تدریجی ذخایر مواد مغذی خاک می‌شود. به‌دلیل مضرات کودهای شیمیایی، مدیریت حاصلخیزی این خاک‌ها در درجه اول بر فرآیندهای کم هزینه مبتنی بر بازیافت مواد مغذی وابسته است که از آن جمله می‌توان به بازیافت مواد مغذی از طریق کودهای آلی اشاره کرد که موجب بهبود رشد و عملکرد ذرت می‌شود (Figueiredo et al., 2009).

در پژوهشی، کیفیت علوفه ذرت و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna ungustifolia* L.)تحت تأثیر ورمی‌کمپوست مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که میزان پروتئین خام، خاکستر، عملکرد کل پروتئین و قابلیت هضم ماده خشک با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت (Shakarami et al., 2019). بررسی تأثیر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی گندم و چغندرقند بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک نشان داد که تمام روش‌های مدیریتی نظیر سوزاندن بقایا، مخلوط کردن بقایا همراه با کود شیمیایی به‌جز رهاسازی بقایا در سطح خاک موجب افزایش مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک نسبت به شاهد شدند. بر همین اساس، گزارش کردند که مناسب‌ترین روش از نظر ارتقای شاخص‌های کیفی خاک در هر دو نوع بقایای گندم و چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)، مخلوط کردن بقایا به‌وسیله شخم با خاک است (Ghoreishi et al., 2019). نتایج پژوهشی نشان داد که نوع مدیریت زراعی (تک‌کشتی- حفظ بقایا، تناوب زراعی- حفظ بقایای گیاهی و تک‌کشتی- حذف بقایای گیاهی)، اثرات کاملاً متفاوتی بر ویژگی‌های خاک داشتند و بیشترین مقدار مواد آلی خاک (۱/۰۳ درصد) و سایر خصوصیات فیزیکی در مدیریت تک‌کشتی- حفظ بقایا مشاهده شد (Sadeghian et al., 2019).

نظر به اهمیت حفظ منابع تولید به‌ویژه خاک در طی مراحل تولید پایدار محصول، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود آلی به ضرورت احساس می‌شود. از این رو، هدف پژوهش حاضر بررسی اثر سیستم-های تلفیقی کوددهی بر کیفیت علوفه ذرت و حاصلخیزی خاک بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش از ذرت رقم فجر یا K.S.C 260 با قوه نامیه ۹۸ درصد و درجه خلوص ۹۹ درصد استفاده شد که از شرکت کشاورزی برکت جوین تهیه شد. این پژوهش در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا اجرا شد. آب‌وهوای منطقه براساس طبقه‌بندی کوپن جزو اقلیم‌های خشک و بسیار گرم با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. براساس آمار ایستگاه هواشناسی زابل میانگین درازمدت ۳۰ ساله بارندگی ۶۳ میلی‌متر، میانگین دمای منطقه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر سالیانه به‌طور متوسط ۵۰۰۰-۴۵۰۰ میلی‌متر است (ایستگاه هواشناسی شهرستان زابل). اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۶ در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹٦

Table 1- Meteorological information of the studied area in 2016

ماه Month	دما Temperature (C°)			بارش کل Total precipitation	سرعت باد Wind speed
	Max	Min	Mean	(mm)	($m.s^{-1}$)
April	41.2	6.7	23.9	0	6.2
May	46	16.3	31.6	0	4.9
June	48.8	19.6	34.8	0	7.8
July	46.3	26.3	35.7	0	9.5

جدول۲- **ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش**

Table 2- Chemical and physical characteristics of the test (experimental) site soil

بافت **Texture**	عمق **Depth (cm)**	**pH**	هدایت الکتریکی **EC (dS.m^{-1})**	مواد خنثی شونده کل **T.N.V. (%)**	تخلخل **Porosity (%)**	کربن آلی **Organic C (g.kg^{-1}soil)**
Clay-Loam	0-30	8.12	3.09	12.5	38.06	0.60
نیتروژن **N (%)**	فسفر **P (mg.kg^{-1})**	پتاسیم **K (meq.lit^{-1})**	سدیم **Na (meq.lit^{-1})**	کلسیم **Ca (meq.lit^{-1})**	منیزیم **Mg (meq.lit^{-1})**	سولفات **Sulphate**
0.042	5.8	0.29	15.19	4.99	10.26	8.47

جدول۳- **ویژگی‌های شیمیایی آب**

Table 3- Chemical characteristics of water

pH	هدایت الکتریکی **EC (dS.m^{-1})**	جامدات محلول در آب **TDS (meq.lit^{-1})**	نسبت سدیم محلول **SSP (%)**	نسبت جذب سدیم **SAR**	سختی کل **Water hardness (meq.lit^{-1})**	سولفات **Sulphate (meq.lit^{-1})**
8	3760	8334	108.16	27.68	2755	28.25
کربنات **CO_3 (meq.lit^{-1})**	بی کربنات **HCO_3 (meq.lit^{-1})**	کلرید **Cl (meq.lit^{-1})**	سدیم **Na (meq.lit^{-1})**	کلسیم **Ca (meq.lit^{-1})**	منیزیم **Mg (meq.lit^{-1})**	
0	4.48	93.6	72	8.87	32.48	

جدول ۴- **ویژگی‌های شیمیایی بقایای گندم مورد استفاده**

Table 4- Chemical characteristics of wheat residues used

کربن آلی **Organic C (%)**	نیتروژن **N (%)**	فسفر **P (%)**	پتاسیم **K (%)**	پروتئین **Protein (%)**	نسبت کربن/ نیتروژن **C/N**
9.67	0.42	0.27	1.79	2.53	23.04

جدول ۵- **ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده**

Table 5- Chemical characteristics of used vermicompost

کربن آلی **Organic C (%)**	نیتروژن **N (%)**	فسفر **P (%)**	پتاسیم **K (%)**
0.816	1.72	0.35	0.64

در جدول زیر نتایج تجزیه خاک محل آزمایش نشان داده شده است. بررسی ارقام مندرج در جدول حاکی از این است که خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی و از نظر ماده آلی فقیر است. نتایج سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در جدول ۲ و ۳ نمایش داده شده است.

این آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی در ده سطح (عدم کوددهی، ۳۰ درصد بقایای گندم، ۶۰ درصد بقایای گندم، ۹۰ درصد بقایای گندم، ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۶۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست، ۱۰ درصد ورمی-کمپوست+۹۰ درصد بقایای گندم، ۴۰ درصد ورمی‌کمپوست+۶۰ درصد بقایای گندم و ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست+ ۳۰ درصد بقایای گندم) بودند. مقدار ورمی‌کمپوست مورد استفاده بر مبنای ۱۰ تن در هکتار (Nemati sani, 2012) و میزان بقایای گندم براساس ۵ تن در هکتار برآورد گردید (براساس میانگین عملکرد کاه‌وکلش گندم در منطقه). ورمی‌کمپوست بکار رفته در آزمایش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل تهیه گردید. ویژگی‌های شیمیایی بقایای گندم مورد استفاده در جدول ۴ و ورمی‌کمپوست در جدول ۵ ارائه شده است.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل دو مرحله شخم، دیسک و لولر جهت تسطیح کامل زمین و آماده سازی بستر کاشت بود که در بهمن سال ۱۳۹۶ انجام شد. با لحاظ کردن تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک و طبق توصیه متخصص علوم خاک، ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در

هکتار از منبع کود اوره به به‌صورت یک سوم در زمان کاشت و دو سوم نیز طی دو مرحله پنجه‌زنی و ساقه رفتن به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. همچنین سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت استفاده شد. به‌منظور اعمال تیمارها ابتدا بقایای کاه‌وکلش گندم براساس مقادیر متناسب با تیمارها با خاک مخلوط گردید. نحوه کاربرد ورمی‌کمپوست براساس مقادیر متناسب با تیمارها به‌صورت خاک‌کاربرد و مخلوط با خاک سطحی صورت‌گرفت

اندازه هر واحد آزمایشی ۴ × ۲ متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بذرها در چهار ردیف به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر و با فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در اواخر اسفند ماه کشت شدند. اولین آبیاری به‌صورت ثقلی و نشتی قبل از کشت بذر انجام شد و دقت کافی از نظر تعیین دقیق خط داغ آب و مراقبت از عدم جاری شدن آب روی پشته‌ها انجام شد. پس از خارج شدن رطوبت اضافی از زمین و رسیدن رطوبت به حد ظرفیت مزرعه (حالت گاورو)، سه روز پس از اولین آبیاری، کشت انجام شد. پس از گاورو شدن زمین در طرفین پشته‌ها، چاله‌هایی به‌عمق پنج سانتی‌متر ایجاد شد و دو تا سه بذر در داخل هر چاله قرار گرفت و روی آن با خاک نرم مرطوب پوشانیده شد. آبیاری هر شش تا هفت روز یک بار صورت گرفت. پس از سبز شدن در مرحله چهار برگی نسبت به تنک نمودن بوته‌ها برای رسیدن به تراکم دلخواه (۱۰۰ هزار بوته در هکتار) اقدام گردید. وجین علف‌های هرز در چند مرحله از کاشت تا چهار برگی، از کاشت تا هفت برگی و از کاشت تا ۱۱ برگی به‌صورت دستی انجام شد.

خصوصیات کیفی علوفه شامل قابلیت هضم ماده خشک (DMD[1]) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF[2]) که سهم دیواره سلولی (شامل سلولز و لیگنین) است، پس از خشک کردن نمونه‌ها و آسیاب کردن آن‌ها، با استفاده از روش طیف سنجی مادون قرمز نزدیک (NIR)، spectroscopy مدل Percon-Inframatic 8620 (ساخت کشور امریکا) در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اندازه‌گیری شد (Van Soest et al., 1991).

جهت تعیین مقادیر عناصر غذایی خاک، بعد از برداشت محصول، نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در محل هر گیاه تهیه و در هوای آزاد خشک گردید و سپس کوبیده و برای انجام آزمایش‌های شیمیایی از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. کربن آلی خاک از روش والکی بلک (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن از روش کجلدال (Kjeldahl, 1883)، فسفر در عصاره حاصل از روش اولسن (Olsen, 1954) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، سدیم محلول در عصاره اشباع و پتاسیم تبادلی در استات آمونیم یک نرمال به‌روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری و محاسبه گردید. عناصر کلسیم، منیزیم و گوگرد توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

براساس نتایج، تأثیر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر عناصر فسفر، کلسیم و سولفات خاک در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان کربن آلی، نیتروژن، سدیم، پتاسیم و منیزیم خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تحت تأثیر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی قرار نگرفت (جدول ۶).

ویژگی‌های کیفی علوفه ذرت

براساس نتایج، بیشترین قابلیت هضم ماده خشک (۵۶/۳۵ درصد) در تیمار ۶۰ درصد بقایای گندم به‌دست آمد که از لحاظ آماری با سیستم تلفیقی ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۱۶/۴۰ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در سیستم تلفیقی ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم به‌دست آمد. همچنین کمترین مقدار قابلیت هضم ماده خشک (۵۱/۸۷ درصد) و بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۲۹/۳۷ گرم بر کیلوگرم ماده خشک) در شاهد مشاهده شد (جدول ۷). قابلیت هضم ماده خشک و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌عنوان شاخص‌های مهم کیفیت علوفه مطرح هستند که با یکدیگر همبستگی منفی دارند. علوفه متشکل از دو بخش ساختمانی و دیواره سلولی (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) است و محتوای سلولی را در بر می‌گیرد که از هیدرات‌های

1- Dry Matter Digestibility
2- Acid Detergent Fiber

کربن با زنجیره ساختمانی کوتاه و از ترکیب پروتئین و اسیدهای آلی تشکیل شده است (Karami et al., 2023). الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی (سلولز و لیگنین) در جیره دام می‌باشد (Tang et al., 2018)، با کاهش این شاخص خوش‌خوراکی، سرعت هضم، ارزش نسبی و کیفیت مواد غذایی افزایش می‌یابد و میزان انرژی بیشتری برای نشخوارکنندگان فراهم می‌شود (Waghorn et al., 2007; Javanmard et al., 2019). از سوی دیگر، قابلیت هضم علوفه بستگی به نسبت محتویات داخل سلول (کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های محلول) به دیواره سلولی دارد. قابل ذکر است که عوامل محیطی، شرایط خاک و عوامل تغذیه‌ای مانند انواع کودها بر قابلیت هضم علوفه تأثیرگذار هستند (Mikic et al., 2015). در این آزمایش، کاربرد سیستم‌های تلفیقی کودی به‌نوعی باعث اثرات هم‌افزایی مثبت در گیاه شده و تا حد زیادی خصوصیات رشدی مطلوبی را برای گیاه به‌وجود آورده است. افزایش قابلیت هضم ماده خشک در این پژوهش با افزایش سطوح ورمی-کمپوست و بقایای گیاهی مورد استفاده را می‌توان به عرضه مواد غذایی بیشتر و همچنین بهبود شرایط فیزیکی خاک نسبت داد و از آن‌جایی‌که میزان هضم علوفه به مقدار و قابلیت هضم مواد آلی و معدنی بر می‌گردد، با بالا رفتن این مواد قابلیت هضم و خوش‌خوراکی علوفه نیز بیشتر شده است. در تأیید نتایج این تحقیق، محققان بیان کردند که با افزایش فراهمی عناصر غذایی تحت مصرف کودهای آلی و شیمیایی، رشد سبزینه‌ای گیاه بیشتر شده و موجب کاهش الیاف نامحلول و افزایش کیفیت علوفه می‌شود (Kazemi et al., 2020; Abrishami et al., 2023). پژوهشگران اظهار داشتند که در سطوح بالاتر ورمی‌کمپوست به‌دلیل وجود عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و اثر افزایشی این عنصر بر رشد رویشی و انبساط سلولی، بخش کمتری به دیواره سلولی تعلق گرفته و مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاهش می‌یابد (Waghorn et al., 2007). بررسی تأثیر کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر ذرت علوفه‌ای نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست، عملکرد کمّی و کیفی علوفه ذرت را افزایش داده است و با استفاده از ورمی‌کمپوست تا ۵۰ درصد مصرف کودهای شیمیایی کاهش یافت. از این رو، محققان بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست ضمن کاهش قابل توجه مصرف کودهای شیمیایی با افزایش قابلیت هضم ماده خشک و کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی موجب افزایش کیفیت علوفه ذرت شده است (Behrouzi et al., 2022). نتایج به‌دست آمده در بررسی سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن و ورمی کمپوست بر عملکرد و کیفیت ذرت مبین این بود که بیشترین مقدار ماده خشک قابل هضم و کمترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سیستم تلفیقی ۶۹ کیلوگرم نیتروژن + ۳ تن ورمی کمپوست در هکتار مشاهده شد. سیستم تلفیقی کوددهی موجب افزایش میزان پروتئین‌های محلول داخل سلول شد و در نتیجه، باعث افزایش درصد ماده خشک قابل هضم گردید (Habibi & Majidian, 2014). همچنین، بررسی سطوح آبیاری و ورمی‌کمپوست بر مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)نشان داد که با افزایش سطوح آبیاری و ورمی‌کمپوست (۱۵ تن در هکتار) مقدار الیاف نامحلول کاهش و درصد ماده خشک علوفه کینوا نیز افزایش یافت (Sheikhi Sanandaji et al., 2023)

ویژگی‌های شیمیایی خاک

براساس نتایج، بیشترین میزان کربن آلی (۰/۲۱۲ درصد) و فسفر (۵/۰۷ میلی‌گرم در لیتر) خاک در سیستم تلفیقی ۱۰ درصد ورمی-کمپوست + ۹۰ درصد بقایای گندم به‌دست آمد که از لحاظ آماری با تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بیشترین میزان نیتروژن خاک از تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم (۰/۰۶۳۳ درصد) و کمترین مقدار در تیمار عدم کوددهی (۰/۰۲۰ درصد) مشاهده شد (جدول ۷).

در مجموع، سیستم‌های تلفیقی، مقدار کربن آلی بیشتری نسبت به شاهد و سایر تیمارها داشتند. کمبود کربن آلی در خاک‌های ایران به‌عنوان مهم‌ترین عامل در ناپایداری حاصلخیزی خاک مطرح می-باشد. از این رو، افزایش کربن آلی خاک از طریق کاربرد کودهای آلی می‌تواند به افزایش کربن آلی خاک‌ها منجر شود. به‌نحوی‌که استفاده مداوم از کودهای آلی سبب افزایش دو برابری کربن آلی خاک‌ها شده است (Moshiri et al., 2017). محققان افزایش میزان کربن آلی را به فعالیت بیشتر آنزیم‌های دی هیدروژناز، فسفاتاز، اوره‌آز، بتاگلوکسیداز و آریل سولفاتاز نسبت دادند (Adak et al., 2014). نتایج حاصل از آزمایش طی سال نشان داد که افزایش کربن آلی خاک در تیمارهای مختلف حفظ بقایای گیاهی در هر سه سال برتر از سوزاندن بقایا و افزایشی بود. همچنین بیان کردند که افزایش میزان

بقایا در اثر گذشت زمان باعث افزایش ماده آلی خاک خواهد شد. این عمل ضمن حفظ مواد آلی قبلی خاک، شرایط محیطی مناسب‌تری برای فعالیت موجودات زنده ایجاد می‌کند. بقایای گیاهی جدید نیز در خاک به موادی که شباهت بیشتری به هوموس دارند، تبدیل می‌شوند (Afzali Gorouh et al., 2019).

در بررسی تأثیر بقایای گیاهی در دو نوع بافت خاک بر ویژگی‌های خاک و عملکرد ذرت دانه‌ای، نتایج بیانگر افزایش مقدار کربن آلی (۰/۸۰ درصد) در تیمار دارای بقایای گندم و بافت خاک لوم رسی بود (Hesami et al., 2018). همچنین، محققان از برهم‌کنش اثرخاک‌ورزی و بقایای گندم بر ماده آلی خاک نتیجه گرفتند که افزایش بقایا در تیمار کم‌خاک‌ورزی نسبت به بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش ماده آلی خاک با شیب تندتری شده است. دلیل افزایش کربن آلی خاک در این دو تیمار، زیر خاک رفتن حجم بیشتری از بقایا توسط ادوات خاک‌ورزی و فراهم شدن شرایط بهینه برای پوسیدن آن‌ها است (Afzali Gorouh et al., 2019). نتایج تحقیقی نشان داد که بیشترین درصد کربن آلی خاک (۱/۸۴) به تیمار هفت تن ورمی‌کمپوست تعلق داشت که نسبت به شاهد ۱۱۰/۳۸ درصد افزایش داشت (Javanmard et al., 2016).

نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم برای رشد گیاه محسوب شده و در نتیجه، بررسی مقدار و تغییرات آن در ترکیبات آلی از نظر ارزیابی ارزش کود نهایی حائز اهمیت است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، مقدار نیتروژن در سیستم تلفیقی کودی با افزایش ورمی‌کمپوست تا ۷۰ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. یکی از دلایل اصلی این افزایش، کاهش مواد آلی بستر در اثر فرایند تجزیه توسط ریزجانداران و کرم‌های‌خاکی و تبدیل شدن کربن مواد آلی به گاز دی‌اکسیدکربن و کاهش وزن خشک بستر می‌باشد. همچنین می‌توان به لعاب و تراوه‌های نیتروژن‌دار، هورمون‌های محرک رشد و آنزیم‌هایی که توسط کرم‌های خاکی تولید شده و به مواد بستر اضافه می‌شوند، اشاره نمود که همه این مواد سرشار از نیتروژن می‌باشند (Wang et al., 2004). کاهش مقدار pH در طول دوره تجزیه ترکیبات آلی نیز یک عامل مهم در حفظ نیتروژن است (Hartenstein & Hartenstein, 1981)، چرا که در pH قلیایی، نیتروژن تبدیل به گاز آمونیاک شده و تصعید می‌گردد. از سوی دیگر، نتایج تأثیر ورمی‌کمپوست و چای کمپوست بر خصوصیات رشدی ذرت نشان داد که با افزایش سطح ورمی‌کمپوست در خاک، نیتروژن جذب شده توسط گیاه نیز افزایش یافته است (Afsharmanesh et al., 2016) که می‌تواند نشان‌دهنده افزایش میزان نیتروژن در خاک به‌دلیل اثرات مثبت ورمی‌کمپوست باشد.

نتایج حاصل از بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر میزان نیتروژن خاک در کشت گندم نشان داد که نیتروژن کل خاک با کاربرد هفت تن ورمی‌کمپوست نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به‌ترتیب ۸۰/۴۵ و ۷۲/۵۲ درصد افزایش یافت، در تیمارهای تلفیقی با افزایش میزان ورمی‌کمپوست و کاهش مقادیر کودهای شیمیایی، نیتروژن کل افزایش معنی‌داری پیدا کرده است که آن را به آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از ورمی‌کمپوست، کاهش آب‌شویی و تصعید کمتر نیتروژن در تیمارهای تلفیقی و ارگانیکی نسبت دادند (Javanmard et al., 2016). در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک تیمار شده با کمپوست و ورمی کمپوست تحت کشت ذرت طی سه سال انجام شد، کمترین مقدار آنزیم اوره‌آز در شاهد و بیشترین مقدار آن در تیماری که سه سال متوالی ۴۰ تن ورمی‌کمپوست دریافت نموده، بدست آمد که افزایش آن به‌دلیل بالا بودن میزان نیتروژن کل و ماده آلی در این تیمارها نسبت به سایر تیمارها بود. در تیمارهایی که فقط کود شیمیایی دریافت نمودند با افزایش مصرف کود شیمیایی در سال‌های متوالی، فعالیت آنزیم اوره‌آز کاهش یافت (Ahmadpoor et al., 2011). با توجه به افزایش فعالیت آنزیمی در تیمارهایی که کود آلی دریافت نمودند، میزان کربن قابل تجزیه افزایش یافته و شرایط برای افزایش جمعیت میکروبی فراهم شد و این جمعیت، سطح بالاتری از فعالیت آنزیم اوره‌آز را ایجاد کرد. حضور کربن آلی بیشتر در خاک، علاوه‌بر آن‌که امکان فعالیت ریزجانداران را در خاک فراهم می‌کند، جذب ملکول‌های آنزیم را روی سطح کلوئیدهای آلی فراهم و باعث می‌شود که ملکول‌های آنزیم به‌صورت برون‌سلولی به فعالیت خود ادامه دهند. حضور مولکول‌های آنزیم روی سطح کلوئیدهای آلی باعث تداوم تأثیر و حفاظت آن‌ها در مقابل صدمات ناشی از فعالیت پروتئازهای خاک می‌شود. ارتباط خطی که بین فعالیت آنزیمی و ماده آلی وجود دارد، حاکی از آن است که با افزایش مواد آلی، جمعیت میکروبی در خاک افزایش و متقابلاً سنتز این آنزیم نیز افزایش می‌یابد (Ahmadpoor et al., 2011).

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر صفات کیفی و عناصر غذایی خاک

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for integrated organic fertilizer management system on qualitative traits and soil nutrients

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	قابلیت هضم ماده خشک DMD	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	سدیم Na	کلسیم Ca	منیزیم Mg	سولفات $SO4^{-2}$	کربن آلی Organic C
تکرار Replicate	2	2.702	13.82	0.00001	0.2423	0.0027	23.23	0.359	0.4899	4.829	18.36
سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی Integrated organic fertilizer management system	9	15.06^{ns}	11.92^{ns}	0.00042^{**}	0.8504^{*}	0.0103^{**}	98.64^{**}	4.099^{*}	10.87^{**}	15.06^{*}	55.34^{**}
خطا Error	18	8.088	8.605	0.00002	0.3965	0.0022	7.79	1.658	0.1766	5.388	9.225
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.24	8.16	11.48	15.18	17.61	17.24	28.29	4.50	30.23	21.41

ns ،*، **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر خصوصیات کیفی علوفه ذرت و عناصر خاک

Table 7- Mean comparison of the effect of integrated organic fertilizer management system on the quality characteristics of corn forage and soil elements

سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی Integrated organic fertilizer management system	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (g.kg^{-1} DM)	قابلیت هضم ماده خشک DMD (%)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.lit^{-1})
عدم کوددهی (شاهد) Without fertilization	29.37^{a*}	51.87^{b}	0.0902^{d}	0.0200^{g}	3.56^{bc}
۳۰٪ بقایای گندم 30% wheat residues	21.39^{a-c}	52.02^{b}	0.1536^{bc}	0.0300^{f}	4.41^{a-c}
۳۰٪ ورمی‌کمپوست 30% vermicompost	29.30^{ab}	53.18^{ab}	0.1183^{cd}	0.0400^{c-e}	3.94^{a-c}
۶۰٪ ورمی‌کمپوست 60% vermicompost	17.40^{c}	55.82^{a}	0.1136^{cd}	0.0500^{b}	3.33^{c}
۶۰٪ بقایای گندم 60% wheat residues	21.003^{bc}	56.35^{a}	0.0897^{d}	0.0366^{d-f}	4.34^{a-c}
۹۰٪ بقایای گندم 90% wheat residues	19.63^{bc}	53.48^{ab}	0.1553^{bc}	0.0466^{bc}	4.52^{a-c}
۱۰۰٪ ورمی‌کمپوست 100% vermicompost	20.03^{bc}	54.80^{ab}	0.1183^{cd}	0.0366^{d-f}	3.75^{bc}
۱۰ ٪ ورمی‌کمپوست + ۹۰٪ بقایای گندم 10% vermicompost + 90% wheat residues	22.57^{a-c}	54.25^{ab}	0.2125^{a}	0.0433^{b-d}	5.07^{a}
۷۰٪ورمی‌کمپوست + ۳۰٪بقایای گندم 70% vermicompost + 30% wheat residues	16.40^{c}	56.01^{a}	0.2022^{ab}	0.0633^{a}	4.58^{ab}
۴۰٪ورمی‌کمپوست + ۶۰٪ بقایای گندم 40% vermicompost + 60% wheat residues	17.95^{c}	54.20^{ab}	0.1661^{a-c}	0.0333^{ef}	3.94^{a-c}

* میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to the duncan's test at the level of 5% probability

نتایج حاصل از برآورد میزان نیتروژن خاک در کشت ذرت تحت تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک داد که خاک‌های تحت تیمار ورمی‌کمپوست و کود دامی با اختلاف معنی‌داری درصد نیتروژن بالاتری نسبت به سایر تیمارها داشتند (Khalilzade et al., 2016).

در مطالعه حاضر، افزودن مواد آلی به خاک باعث افزایش فسفر خاک شده است. معدنی شدن و متحرک شدن فسفر به‌دلیل وجود ریزجانداران و آنزیم‌های محلول‌کننده فسفر موجود در روده کرم‌های خاکی است. به عبارت دیگر، با مصرف کمپوست، سطوح درگیر روی کلوئیدهای خاک به‌دلیل تغییرات pH بی‌ثبات شده و در نتیجه، فسفر قابل دسترس خاک افزایش می‌یابد (Tripathi & Chen, 1996 ; Bhardwaj, 2004). نتایج حاصل از بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی بر میزان فسفر خاک در کشت گندم نشان داد که با افزایش ورمی‌کمپوست و کاهش مقادیر کودهای شیمیایی، میزان فسفر خاک افزایش یافت که نتیجه را به وجود فسفر بالا در ورمی‌کمپوست نسبت دادند. همچنین بیان کردند که کاهش اسیدیته در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست هم می‌تواند منجر به افزایش فسفر تبادلی خاک شود (Javanmard et al., 2016). در همین راستا، سایر محققان اظهار داشتند که عبور مواد آلی از روده کرم‌های خاکی، فسفر را به‌فرم قابل جذب برای گیاه در آورده و افزایش فعالیت فسفاتاز و تجزیه فیزیکی مواد منجر به معدنی شدن عمده آن‌ها می‌شود. همچنین استفاده از ورمی‌کمپوست منجر به افزایش $NaHCO_3^-$ فسفر استخراجی و آزادسازی اسید هیومیک در حین تجزیه مواد آلی می شود که می‌تواند فسفات غیر قابل دسترس را به‌فرم قابل دسترس تبدیل نماید. ضمن اینکه رهاسازی تدریجی فسفر از ورمی‌کمپوست عمدتاً مربوط به فعالیت ریزجانداران خاک می‌باشد (Arancon et al., 2006; Singh et al., 2013).

جدول ۸- **مقایسه میانگین اثر سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی بر عناصر خاک**

Table 8- Mean comparison of the effect of integrated organic fertilizer management system on the soil elements

سیستم تلفیقی مدیریت کود آلی Integrated organic fertilizer management system	سدیم Na (meq.lit^{-1})	پتاسیم K (meq.lit^{-1})	کلسیم Ca (meq.lit^{-1})	منیزیم Mg (meq.lit^{-1})	سولفات SO4^{-2} (meq.lit^{-1})
عدم کوددهی (شاهد) Without fertilization	25.49^{a*}	0.316^{a-c}	3.24^{c}	6.95^{f}	7.58^{ab}
۳۰٪ بقایای گندم 30% wheat residues	18.91^{bc}	0.253^{b-d}	6.33^{a}	10.95^{bc}	7.39^{ab}
۳۰٪ ورمی‌کمپوست 30% vermicompost	15.09^{c}	0.253^{b-d}	3.16^{c}	7.89^{e}	7.10^{ab}
۶۰٪ ورمی‌کمپوست 60% vermicompost	14.87^{c}	0.226^{cd}	3.53^{bc}	7.04^{f}	4.95^{b}
۶۰٪ بقایای گندم 60% wheat residues	18.12^{bc}	0.320^{ab}	4.18^{a-c}	9.59^{d}	8.48^{ab}
۹۰٪ بقایای گندم 90% wheat residues	19.54^{bc}	0.240^{b-d}	5.42^{a-c}	9.30^{d}	8.93^{ab}
۱۰۰٪ ورمی‌کمپوست 100% vermicompost	8.34^{d}	0.216^{d}	4.09^{a-c}	12.13^{a}	5.76^{b}
۱۰ ٪ ورمی‌کمپوست + ۹۰٪ بقایای گندم 10% vermicompost + 90% wheat residues	22.26^{ab}	0.370^{a}	5.59^{a-c}	10.57^{c}	10.67^{a}
۷۰٪ ورمی‌کمپوست + ۳۰٪ بقایای گندم 70% vermicompost + 30% wheat residues	9.59^{d}	0.326^{ab}	5.95^{ab}	11.37^{b}	11.29^{a}
۴۰٪ ورمی‌کمپوست + ۶۰٪ بقایای گندم 40% vermicompost + 60% wheat residues	9.70^{d}	0.186^{d}	4.00^{a-c}	7.48^{ef}	4.61^{b}

* میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to the duncan's test at the level of 5% probability

در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک تیمار شده با کمپوست و ورمی‌کمپوست تحت کشت ذرت طی سه سال انجام شد، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی از شاهد تا تیمار ۴۰ تن ورمی کمپوست در هکتار روند افزایشی داشته و این روند در همه تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بود. همچنین در تیمار کود شیمیایی، با افزایش سال کوددهی میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی کاهش معنی‌داری یافت. با توجه به اینکه میزان عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست اغلب بیشتر از کمپوست می‌باشد، بیشترین میزان فسفر قابل جذب در تیمار ورمی‌کمپوست مشاهده شد (Ahmadpoor et al., 2011). ماده آلی مقدار زیادی از بستر مورد نیاز آنزیم فسفاتاز قلیایی را دارا می باشد. از این رو، حضور ترکیبات آلی بیشتر در خاک منجر به افزایش مقدار ترکیبات استری فسفات و در نتیجه، باعث القای تولید آنزیم فسفاتاز قلیایی در خاک شد (Ahmadpoor et al., 2011)

براساس نتایج، بیشترین میزان سدیم خاک (۲۵/۴۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر) در تیمار عدم کوددهی و کمترین مقدار در تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم (۹/۵۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین میزان پتاسیم خاک (۰/۳۷ میلی‌اکی‌والان در لیتر) از سیستم تلفیقی ۱۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۹۰ درصد بقایای گندم حاصل شد و پس از آن، تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم، بیشترین مقدار پتاسیم خاک را داشت. بیشترین میزان کلسیم خاک (۶/۳۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر) در تیمار ۳۰ درصد بقایای گندم مشاهده شد که از لحاظ آماری با تیمار ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین، بیشترین و کمترین میزان منیزیم خاک به‌ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست (۱۲/۱۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر) و عدم کوددهی (۶/۹۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر) بود. نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان سولفات خاک (۱۱/۲۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر) در شرایط کاربرد ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصد بقایای گندم بود (جدول ۸).

به نظر می‌رسد که افزایش ورمی‌کمپوست و کاهش بقایای گندم موجب کاهش میزان سدیم و افزایش پتاسیم در خاک شده است.

نتایج پژوهشگران بیانگر آن است که ورمی‌کمپوست دارای اکثر عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول بـرای خـاک و رشد گیاه می‌باشد، به‌نحوی‌که در فضـولات کـرم‌هـای خـاکی مـورد استفاده در ورمی‌کمپوست، مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم ۱۱– ۵ برابر بیشتر از خاک می‌باشد (Smith, 1998; Gutiérrez-Miceli et al., 2007). همچنین وجود ریزجانداران متعدد در ورمی‌کمپوست منجر به آزادسازی اسیدهای آلی از جمله اسید اگزالیـک شـده کـه در نهایـت، باعث افزایش حلالیت عناصر به‌ویژه پتاسیم و فسفر می‌شوند (Adak et al., 2014)، به‌طوری‌که محققان گزارش کردند با مصرف ۱۰ تـن ورمی‌کمپوست در هکتار غلظت پتاسیم محلول خاک ۲۹/۲ درصـد در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Soltanzadeh et al., 2022).

محققان اظهار داشتند که سامانه تلفیقی مدیریت بقایـای گیـاهی، واکنش خاک را تنظیم و میزان عناصر کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسـفر و ظرفیت تبادل کاتیونی را افـزایش مـی‌دهـد (Sidiras & Pavan, 1985). بنـابراین، در بیشـتر منـاطق ایـران کـه عامـل محدودکننـده اسیدیته و کمبود عناصر ریزمغذی هستند، اجرای سامانه‌هـای تلفیقـی مدیریت بقایای گیاهی، نتایج مثبتی به دنبال دارد. علاوه‌بر موارد ذکـر شده، ورمی‌کمپوست نسبت به سایر کودهـای مـورد اسـتفاده موجـب فراهمی بیشتر عناصر پتاسـیم، کلسـیم و منیـزیم بـه‌دلیل آزادسـازی تدریجی و کاهش آب‌شویی آن‌ها می‌شود (Chaoui et al., 2003).

بررسـی تـأثیر ورمـی‌کمپوسـت، گـل گـوگرد و *تیوباسـیلوس* بـر خصوصیات فیزیکی و شـیمیایی خـاک تحـت کشـت ذرت در بخـش جوین نشان داد که اثرات کود مصرفی بر میزان سولفات قابـل جـذب خاک معنی‌دار و باعث افزایش آن شد، بـه‌طوری‌که حداکثر مقـدار آن در تیمار هزار کیلوگرم گل گوگرد با پنج هزار کیلوگرم کود آلی ورمی-کمپوست و حداقل آن در شاهد به‌دست آمد. بر این اساس، می تـوان بیان کرد که مصرف گل گوگرد و ورمی‌کمپوسـت در حضـور بـاکتری *تیوباسیلوس* سبب تولید اسیدهای معدنی و آلی می‌گردد و عمده اسید تولید شده، اسید سولفوریک بود که مقدار آن در محلول خاک افزایش چشمگیری نشان داده است (Ahmadi et al., 2017). ارزیـابی تـأثیر تناوب زراعی و مدیریت تلفیقی کود بر ویژگی‌های شـیمیایی خـاک در کشت ذرت نشان داد که در تیمار حفظ بقایای گیـاهی در مقایسـه بـا تیمار برداشت کامل بقایا، میزان فسـفر و پتاسـیم قابـل جـذب خـاک بیشتر بود (Mirzashahi et al., 2016). نتایج مشابهی در رابطـه بـا افزایش عناصر غـذایی خـاک، افـزایش ریزجانـداران خـاک و بهبـود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه استفاده از کودهای آلی به‌تنهایی و یا به‌صورت تلفیقی با کودهـای شـیمیایی و حفـظ بقایـای گیاهی در مقایسه با حذف و یا سوزاندن و همچنین آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از بقایای گیاهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Huang et al., 2012; Heydari et al., 2013; Agegnehu et al., 2016; Akbari & Modarres-Sanavy, 2019; Soltanzadeh et al., 2022).

نتیجه‌گیری

در یک سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هـایی کـه جنبـه هـای اکولـوژیکی سیسـتم زراعـی را بهبـود بخشـیده و مخـاطرات زیست‌محیطی را کاهش دهند، ضـروری مـی‌باشـد. بـر ایـن اسـاس، سیستم تلفیقی مورد استفاده منجر به افـزایش معنـی‌دار مقـدار کـربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، کلسیم و منیزیم خاک شد. همچنین، کاربرد همزمان بقایای گیـاهی و ورمـی-کمپوست، تأثیر معنی‌داری بر کیفیت علوفه ذرت داشـت، به‌نحوی‌کـه افزودن مواد آلی، قابلیت جـذب عناصـر غـذایی را افـزایش داده و بـا افزایش قابلیت هضم ماده خشک و کاهش الیاف نامحلول در شـوینده اسیدی، کیفیت علوفه ذرت را بالا برد. افزودن منابع کود آلی به خاک موجب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و آزادسازی تدریجی عناصـر غذایی مـی‌شـود کـه پیامـد آن بهبـود خصوصـیات فیزیکوشـیمیایی، ساختمان و شرایط زیستی خاک می‌باشد. در مجمـوع، نتـایج به‌دسـت آمده از این تحقیق نشان داد که در غالب صفات مورد بررسی، سیستم تلفیقی ۷۰ درصد ورمی‌کمپوست + ۳۰ درصـد بقایـای گنـدم، برتـری قابل توجهی نسبت به کاربرد جداگانه هرکـدام و سـایر سیسـتم‌هـای تلفیقی در منطقه مورد آزمایش دارد. از ایـن رو، مـی‌تـوان گفـت کـه جایگزینی نهاده‌های بـوم سـازگار بـا نهـاده‌هـای شـیمیایی، یکـی از مهم‌ترین گام‌ها در گذار از کشاورزی رایج به پایدار است که بـا تـأثیر مستقیم بر عوامل تولید مانند خاک نقش مـؤثری در کـاهش مصـرف نهـاده‌هـای شـیمیایی، بهبـود خاصـلخیزی خـاک و پایـداری تولیـد اکوسیستم‌های زراعی دارد.

References

1. Abrishami, M., Jalilian, J., & Heydarzadeh, S. (2023). The effect of different sources of fertilizer and low-irrigation on forage quality characteristics and yield of sorghum. *Iranian Journal of Field Crop Science, 54*(3), 1-14. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.353384.654970.
2. Adak, T., Singha, A., Kumar, K., Shukla, S. K., Singh, A., & Kumar Singh, V. (2014). Soil organic carbon, dehydrogenase activity, nutrient availability and leaf nutrient content as affected by organic and inorganic source of nutrient in mango orchard soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14*(2), 394-406.
3. Adekiya, A. O., & Agbede, T. M. (2017). Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 16*(4), 383-388. (In Persian with English Summary).https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.006
4. Afsharmanesh, R., Rahimi, A., Torabi, B., & Akhgar, A. (2016). Effects of vermi compost and compost tea application on the growth criteria of corn (*Zea mays*). *Iranian Journal of Field Crops Research, 14*(1), 185-199. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V14I1.37358
5. Afzali Gorouh, H., Naghavii, H., Rostami, M. A., & Najafinezhad, H. (2019). Effect of conservation tillage and wheat residue management in some soil properties and grain yield of corn. *Iranian Journal of Soil Research, 33*(1), 1-12. (In Persian with English Summary)
6. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment, 543*, 295-306. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054
7. Ahmadi, M., Shahsavani, S., Abasdokht, H., Asghari, H. R., & Gharanjik, S. (2017). Effect of vermicompost, sulfur and *Thiobacillus* on some soil physico-chemical properties, yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in Jovain District. *Journal of Agroecology, 9*(4), 1031-1049. (In Persian with English Summary). https://doi.org/ 10.22067/JAG.V9I4.50902
8. Ahmadpoor, S. R., Bahmanyar, M. A., Salek-Gilani, S., & Forghani, A. (2011). Evaluation of the activities of urease and phosphatase enzymes and changes in some chemical characteristics of soil amended with compost and vermicompost under corn cultivation. *Iranian Journal of Soil Research, 25*(2), 113-123. (In Persian with English Summary). https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2011.126476
9. Akbari, H., & Modarres-Sanavy, S. A. M. (2019). Effects of nutritional management on yield, nitrogen use efficiency, soil organic carbon and nitrogen in canola-wheat crop rotation. *Journal of Agroecology, 10*(4), 1245-1257. (In Persian with English Summary). https://doi.org/ 10.22067/JAG.V10I4.63624
10. Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Bierman, P. (2006). Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology, 97*(6), 831-840. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016
11. Behrouzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, M. J., & Shirkhani, A. (2022). Effect of deficit irrigation, fertilizers and vermicompost on forage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement, 24*(4), 1069-1084. (In Persian with English Summary). http://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594
12. Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., & Ohno, T. (2003). Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry, 35*(2), 295-302. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00279-1
13. Chegeni, M., Ansari-Dust, S. H., & Eskandari, H. (2014). Effect of tillage methods and residuals management on some physical properties of soil to achieve sustainable agriculture. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24*(2), 31-40. (In Persian with English Summary)
14. Chen, J. H. (1996). Characterization of Inositol hexaphosphate, glucose-6-phosphate and potassium dihydrate phosphate sorption by acid and calcareous soils. *Journal of Chinese Agricultural Chemical Society, 34*, 112-117.
15. Figueiredo, M. V. B., Junio, M. D. A. L., Messias, A. S., Menezes, R. S. C., & Danforth, A. T. (2009). Potential impact of biological nitrogen fixation and organic fertilization on corn growth and yield in low external input systems. Corn crop production growth, fertilization and yield. *New York: Nova Science Publisher, 1*, 239-267.
16. Ghoreishi, F., Lakzian, A., Fotovat, A., & Zabihi, H. (2019). Effect of different management of wheat and sugar beet residues on some chemical and biological properties of soil. *Iranian Journal of Field Crops Research, 17*(3), 359-372. (In Persian with English Summary)
17. Govaerts, B., Sayre, K. D., Lichter, K., Dendooven, L., & Deckers, J. (2007). Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant and*

Soil, *291*, 39-54. https://doi.org/ 10.1007/s11104-006-9172-6

18. Gutiérrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Molina, J. A. M., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Llaven, M. A. O., & Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology, 98*(15), 2781-2786. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.032
19. Habibi, S., & Majidian, M. (2014). Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermi-compost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays* Hybrid Chase). *Isfahan University of Technology-Journal of Crop Production and Processing*, *4*(11), 15-26. (In Persian)
20. Hartenstein, R., & Hartenstein, F. (1981). Physicochemical changes effected in activated sludge by the earthworm Eisenia foetida. *Journal of Environmental Quality*, *10*(3), 377-381. https://doi.org/10.2134/jeq1981.00472425001000030027x
21. Hesami, E., Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., & Farhoudi, R. (2018). Effects of plant residues in two types of soil texture on soil characteristics and corn (*Zea mays* L.) NS640 yield in a reduced-Tillage cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research, 16*(1), 67-81. (In Persian with English Summary). https://doi.org/ 10.22067/GSC.V16I1.56548.
22. Heydari, F., Rasoulzadeh, A., Sepaskhah, A. R., Asghari, A., & Ghavidel, A. (2013). Effect of crop residue management on soil physical and biological properties, and forage corn and barely yield. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *17*(65), 233-248. (In Persian with English Summary)
23. Huang, G. B., Luo, Z. Z., Li, L. L., Zhang, R. Z., Li, G. D., Cai, L. Q., & Xie, J. H. (2012). Effects of stubble management on soil fertility and crop yield of rainfed area in Western Loess Plateau, China. *Applied and Environmental Soil Science*, *20*(12), 1-9. https://doi.org/10.1155/2012/256312
24. Jabeen, N., & Ahmad, R. (2017). Growth response and nitrogen metabolism of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to vermicompost and biogas slurry under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *40*(1), 104-114. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201495
25. Javanmard, A., Nazari, B., Jalilian, A., & Dashti, S. H. (2016). Effect of different levels of vermicompost and chemical fertilizer applications on some physicochemical characteristics of soil and wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Bahar) yield in rotation with sugar beet. *Water and Soil Science, 26*(4.1), 167-181. (In Persian with English Summary)
26. Javanmard, A., Nikdel, H., & Amani Machiani, M. (2019). Evaluation of forage quantity and quality in domestic populations of hairy vetch (*Vicia villosa* L), vetch (*Vicia sativa* L.) and caspian vetch (*Vicia hyrcanica*) under rainfed condition. *Journal of Agricultural Sciences and Sustaiable Production*, *29*(1), 15-31. (In Persian with English Summary)
27. Juan, L. I., Zhao, B. Q., Li, X. Y., Jiang, R. B., & Bing, S. H. (2008). Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on microbial biomass, soil enzyme activities and soil fertility. *Agricultural sciences in china, 7*(3), 336-343. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60074-7
28. Karami, M. A., Kamarehie, B., Farhadian, M., & Azimi, F. (2023). Investigating vermicompost production from agricultural waste and sheep manure. *Journal of Environmental Health Enginering, 10*(2), 163-172. (In Persian with English Summary)
29. Kazemi, E., Ganjeali, H., Mehraban, A., & Ghasemi, A. (2020). Effect of nano-fertilizers and water stress on yield and yield components of grain sorghum in Sistan region. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(2), 230-242. (In Persian with English Summary)
30. Khalilzade, H., Jahan, M., & Nassiri Mahallati, M. (2016). Estimation of corn yield and soil nitrogen via soil electrical conductivity measurement treated with organic, chemical and biological fertilizers. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(4), 786-796. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/GSC.V13I4.33938
31. Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., & Alamri, S. A. (2018). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene, 5*, 225-240. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09888-8
32. Kjeldahl, J. (1883). A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, *22*, 366-382
33. Martius, C., Tiessen, H., & Vlek, P. L. G. (2001). The management of organic matter in tropical soils: What are the priorities? *Nutrients Cycling in Agro Ecosystems*, *61*, 1-16. https://doi.org/10.1023/A:1013347027853

34. Mikic, A., Cupina, B., Rubiales, D., Mihailovic, V., Sarunaite, L., Fustec, J., & Srebric, M. (2015). Models, developments, and perspectives of mutual legume intercropping. *Advances in Agronomy, 130*, 337-419. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.004
35. Mirzashahi, K. A. M. R. A. N., Paknejad, A. R., & Omidvari, S. (2016). Effect of rotation, management of nitrogen application, and plant residue on corn (cv. SC704) yield and some soil chemical properties. *Iranian Journal of Soil Research, 30*(2), 115-124. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/IJSR.2016.106714
36. Moshiri, F., Samavat, S., & Balali, M. R. (2017). Soil organic carbon: A key factor of sustainable agriculture in Iran. In Global Symposium on Soil Organic Carbon: Rome, Italy, (pp. 21-23).
37. Moshiri, F., Balali, M. R., Rejali, F., & Sedaghat, A. (2022). A framework for integrated soil fertility and plant nutrition management in Iran. *Land Management Journal, 10*(1), 17-35. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/lmj.2022.124054
38. Mu, X., Zhao, Y., Liu, K., Ji, B., Guo, H., Xue, Z., & Li, C. (2016). Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage and crop residue management in a wheat–maize cropping system on the North China Plain. *European Journal of Agronomy, 78*, 32-43. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.010
39. Nemati Sani, E. (2012). Interaction effect of vermicompost and humic acid on corn yield. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran. (In Persian)
40. Ojeniyi, S. O. (2000). Effect of goat manure on soil nutrients and okra yield in a rain forest area of Nigeria. *Applied Tropical Agriculture, 5*(1), 7-12.
41. Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture.
42. Omidi, J., & Abdolmohammadi, S. (2020). Review of research on vermicompost applications in agriculture. *Land Management Journal, 8*(1), 69-81. (In Persian with English Summary) . https://doi.org/10.22092/lmj.2020.122311
43. Orr, M. J., Gray, M. B., Applegate, B., Volenec, J. J., Brouder, S. M., & Turco, R. F. (2015). Transition to second generation cellulosic biofuel production systems reveals limited negative impacts on the soil microbial community structure. *Applied Soil Ecology, 95*, 62-72. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.002
44. Rafiee, M. (2014). Corn (Proceedings). Sarva Puplisher, Tehran, Iran. 237 pp. (In Persian)
45. Roth, G. W., & Heinrichs, A. J. (2001). Corn silage production and management. *Agronomy Facts, 18*, 1-6.
46. Sadeghian, A., Sayyad, G. A., Firouzi, A. F., & Masir, M. N. (2019). Effect of different agronomic management on some physical indicators of soil quality. *Journal of Water and Soil, 33*(2), 275-288. (In Persian with English Summary)
47. Salami, M. R., Moghaddam, P. R., Sharifi, H. R., Ghaemi, A. R., & Mahallati, M. N. (2017). The effect of different types of soil tillage and sugar beet (*Beta vulgaris*) residue management on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum*). *Iranian Journal of Field Crops Research, 15*(3), 663-675. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i3.52539
48. Shakarami, G., Rahim, Z. K. F., Rafiei, M., & Mirshekari, B. (2019). Evaluation of forage quality of corn and cowpea intercropping as affected by vermicompost and urea foliar application. *Journal of Plant Ecophysiology, 11*(36), 137-151. (In Persian with English Summary)
49. Sheikhi Sanandaji, D., Heidari, G., Fathi, P., Sharifi, Z., & Khodaverdiloo, H. (2023). Investigating the effects of different levels of vermicompost and irrigation on the yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) forage. *Iranian Journal of Field Crop Science, 54*(2), 15-29. (In Persian with English Summary). http://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.348816.654942
50. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S., & Zehtab Salmasi, S. (2019). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 12*(3), 781-791. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332
51. Sidiras, N., & Pavan, M. A. (1985). Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, 9*(3), 249-254.
52. Singh, R., Singh, R., Soni, S. K., Singh, S. P., Chauhan, U. K., & Kalra, A. (2013). Vermicompost from biodegraded distillation waste improves soil properties and essential oil yield of *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. *Applied Soil Ecology, 70*, 48-56. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.04.007
53. Smith, K. (1998). Practical guide to raising earthworm (basic vermiculture information) KW rabbit and worm. *Bioresource Technology, 84*(2), 191-196.

54. SoltanZadeh, A., Ghanbari, A., & Seyedabadi, E. (2022). Effect of chemical fertilizers and vermicompost on the field soil properties and nutrient concentrations of quinoa seed (Red cultivar) in Sistan region. *Crop Science Research in Arid Regions, 4*(1), 77-86. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.320562.1170
55. Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A., & Xie, G. (2018). Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research, 215*, 12-22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.031
56. Torma, S., Vilček, J., Lošák, T., Kužel, S., & Martensson, A. (2018). Residual plant nutrients in crop residues–an important resource. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 68*(4), 358-366. https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1406134
57. Tripathi, G., & Bhardwaj, P. J. B. T. (2004). Decomposition of kitchen waste amended with cow manure using an epigeic species (Eisenia fetida) and an anecic species (Lampito mauritii). *Bioresource Technology, 92*(2), 215-218. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.08.013
58. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*(10), 3583-3597.
59. Waghorn, G. C., Burke, J. L., & Kolver, E. S. (2007). Principles of feeding value. Pasture and supplements for grazing animals. *Occasional Publication, 14*, 35-59.
60. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29-38.
61. Wang, P., Changa, C. M., Watson, M. E., Dick, W. A., Chen, Y., & Hoitink, H. A. (2004). Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry, 36*(5), 767-776. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.012